تحسين البنية المجهرية لسبيكة Al-20%Sn باستخدام السباكة التدفقية الحديثة

Improvement of Al-20%Sn Microstructure by Using New Rheocasting Process

أ.م.د.عدنان نعمه عبود — الكلية التقنية/بغداد
أ.م.د.مضر احمد عبد الستار — جامعة بغداد
م.م.عبد العباس حسون علوان — المعهد التقني/كربلاء

الملخص:

استخدمت طريقة السباكة التدفقية الحديثة في إنتاج سبيكة (Al-20Sn) لحداثة هذه السبيكة والأهمية المتوقعة لها في الصناعة لاسيما في الأجزاء التي تحتاج إلى مقاومة بليان عالية . تم اختيار مصبوبة بالأبعاد (6x6x12cm) وبنسبة حجم المصبوبة إلى مساحتها السطحية (V/A) قدرها (1.2) وزاوية ميلان صب مقدارها (75º) . أنتجت مصبوبات سبيكة (Al-20Sn) بدرجات حرارة سكب مختلفة تراوحت ما بين (10–50°C) فوق درجة حرارة انصهار المسبوكة وبردت المصبوبة بالماء عند درجات حرارية مختلفة ضمن مدى التجمد ما بين درجة حرارة السيولة والصلابة لدراسة تأثير هذه المتغيرات في شكل حبيبات البنية المجهرية وحجمها. أظهرت الفحوصات المجهرية إمكانية إنتاج بنية متساوية المحاور على طول المقطع العرضي للمصبوبة عندما يكون السكب مائلا وبدرجة حرارة سكب بحدود(640ºC) والتبريد بالماء عند درجة حرارة (550ºC) . وكلما كانت درجة حرارة السكب قريبة من درجة حرارة الانصهار وخفضت درجة حرارة التبريد ساعد على زيادة نعومة الحبيبات واقترابها من الشكل متساوي المحاور. بلغ متوسط حجم الحبيبات بحدود (45µm) بينما بلغ متوسط الكسر الحجمي للطور الابتدائي (α-Al) بحدود (0.6) . تبين من اختبار الصلادة إن مصبوبات السباكة التدفقية الحديثة حققت صلادة (37HB) وهي أعلى من مصبوبات السباكة بالقوالب المعدنية بالطريقة التقليدية باستخدام سبيكة تنعيم (Al-10Ti) والتي كانت (31HB). بلغت مقاومة الشد القصوى للعينات التي تم انتاجها بطريقة السباكة بالقوالب المعدنية بحدود (UTS 95MPa) يقابلها (UTS 108MPa) للمصبوبات المنتجة بطريقة السباكة التدفقية الحديثة ، بينما كانت المطيلية للحالة الأولى (8%) والثانية (13%) .

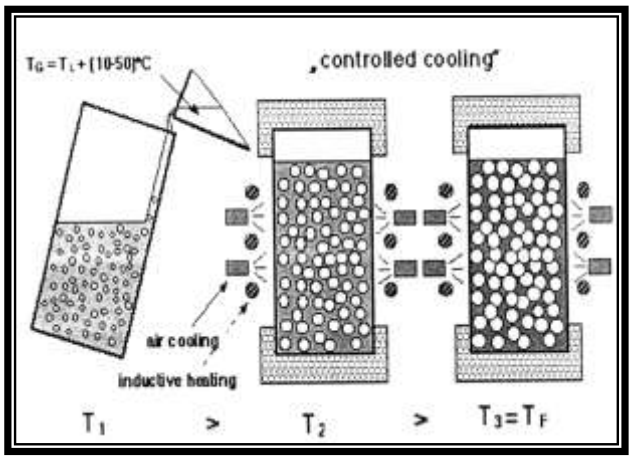
Abstract:

New Rheocasting process is used to produce Al-20%Sn alloy for modernity of this alloy and its potential importance in industry, particularly the parts that need high wear resistance. A casting of dimensions 6x6x12 cm was chosen, having V/A ratio of 1.2 and mould inclination of 75º.The casting produced at different pouring temperatures ranging from Tm+10-50.The cooling was done from different temperatures within the freezing rang of the alloy between liquidus and solidus lines, to study the effect of their variables on the shape and size of grains. The microstructure shows the possibility of producing equiaxial grains along the cross section of the casting when the pouring temperature was 640ºC and cooling at 550ºC. The decreasing in the pouring and cooling temperatures helped to increase the refining degree of the grains to approach the equiaxid shape .The average size of the grains was 45 µm while the average volume fraction for the primary phase was 0.662-0.656 .The hardness test showed the casting produced by new rheocasting achieve higher hardness values of 37HB in comparison with gravity die castings refined by using Al–10Ti. This work appearances the development in ultimate tensile stress and elongation of the castings which achieved by new rheocasting processes (UTS 108 MPa & 13% Elongation) comparing to gravity casting (UTS 95 MPa & 8% Elongation).

المقدمة Introduction

إن حاجة السوق الصناعية إلى مسبوكات خالية من العيوب وذات مقاومة عالية ومطيليه جيدة وبنية ذات حبيبات متساوية المحاور جعلت من عمليات السباكة شبه الصلبة ملاذا لها[7-1].

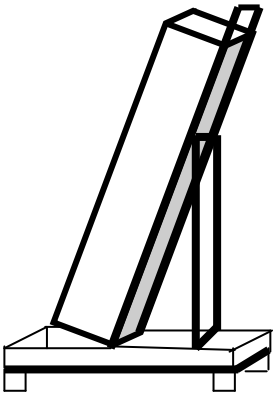
تعتمد فكرة السباكة التدفقية الحديثة (شكل-1) على تقوية عملية التخليق المتجانس للحبيبات الطور الابتدائي (primary phase) من خلال السيطرة على عملية التبريد . أولى مراحل ذلك المسلك تبدأ بصب المنصهر بدرجة حرارة سكب منخفضة نسبياً (Tm+10-50 ºC) على جدار قالب من الفولاذ (steel mould) . تنخفض درجة حرارة المنصهر عند ملامسته الجدار إلى درجة حرارة المنطقة الهلامية (مابين خط السيولة وخط الصلابة من منحنى التوازن الطوري للسبيكة) وبذلك تتم عملية تنوية الطور الصلب على الجدار. تعقب تلك المرحلة عملية تبريد بالهواء إلى درجة حرارة معينة ضمن المنطقة الهلامية ثم التشكيل . يفضل - غالباً- الكسر الحجمي للطور الصلب عند تلك الدرجة بحدود (0.6 - 0.4) . تشتمل عمليات السباكة التدفقية الحديثة على عمليات تجمع بين طريقة السباكة بالكبس (squeeze casting) والسباكة الجديدة للحالة شبه الصلبة وتستخدم لانتاج اجزاء نهائية الصنع وبمواصفات ميكانكية عالية [8,14] .



الجزء العملي Experimental part

تهدف عملية السكب المائل الى زيادة الاتصال بين المنصهر وسطح القالب لزيادة معدل التخليق على سطح القالب وتعزيز أنفصال الحبيبات الاولية المتخلقة على السطح ودخولها وتوزعها بأنتظام داخل المنصهر .ولتحقيق ذلك لابد ان يكون الجريان انطباقي وبسرعة مناسبة دون ان يتحول الى جريان مضطرب وبذلك يمكن الاستغناء عن تحريك المنصهر. لقد استخدمت زاوية 75º كزاوية ميل للقالب اعتمادا على ماتوفره هذه الزاويه من انسياب طباقي الى حد كبير وبنى متساويه المحاور على طول المقطع العرضي [15] .

تم اختيار معدن القالب من الفولاذ المقاوم للصدأ (AISI 304 St.St) لان معامل التوصيل الحراري له اقل نسبيا من الأنواع الأخرى من الصلب ويتحمل الحرارة لغاية (850ºC) . صنع القالب من صفائح بسمك (2.5mm) ليكون بالإمكان التبريد السريع للمسبوكة (شكل-2).



شكل(2) : قالب الصب مائل بزاوية مقدارها (75º)

يؤثر وزن المسبوكة كثيرا في الحرارة المتسربة خلال عملية التجمد علاوة على درجة حرارة سكب المنصهر [16].

$$q = w[H + C_{PL}(T_c - T_i)] \quad \text{..... (1)}$$

حيث q الحرارة (J) ، w وزن المسبوكة (kg)، T_c درجة حرارة السكب(k)، T_i درجة حرارة القالب(k)، C_{PL}الحرارة النوعية للمنصهر (J/kg.k)، H الحرارة الكامنة(J/kg).

تبين المعادلة (1) ، أن زيادة وزن المسبوكة ودرجة حرارة السكب في حالة تثبيت الحرارة النوعية (specific heat) والحرارة الكامنة (latent heat) للمعدن تساعد في زيادة حرارة المنصهر وبالتالي زيادة الوقت المطلوب للتجمد [16] :-

$$t_c = \frac{w[H + C_{PL}(T_c - T_f)]}{1.128 A \alpha_m (T_i - T_o)} \quad \text{.....(2)}$$

$$\sqrt{k \rho C_p}$$

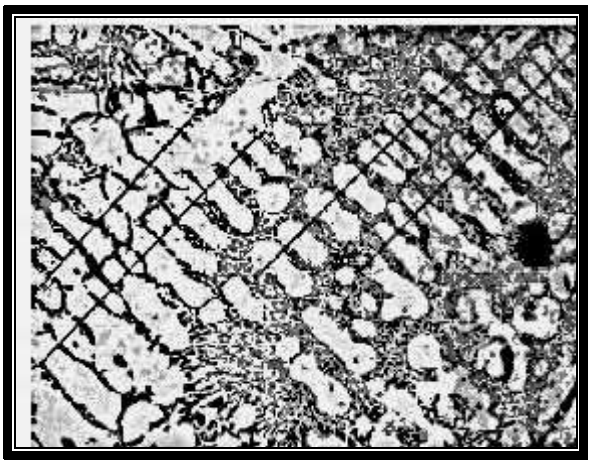
حيث T_f درجة الحرارة النهائية(k)، α_mمعدل انتشار الحرارة للقالب وهو يساوي .

وبذلك تعطي فرصة اكبر للنمو الشجيري وتباعد الأذرع الشجيرية . لذا من الضروري الآخذ بنظر الاعتبار نوع مادة القالب و درجة حرارة السكب وجريان المنصهر للحصول على بنية مجهرية ناعمة ، فضلا عن تحديد أبعاد المسبوكة التي تمثل الحجم نسبة إلى المساحة السطحية (V/A) للحصول على زمن يلائم عملية التبريد السريع بالماء عند درجة الحرارة التي تقابل الكسر الحجمي (volume fraction) للطور الصلب المطلوب . تتأثر البنية المجهرية لأي سبيكة -أيضا- بعدة عوامل أخرى منها التركيب الكيميائي الذي يحُدد بدوره نوعية الأطوار الناتجة والموصلية الحرارية للسبيكة. لقد تم الاعتماد على نسبة (V/A) مساوية إلى (1.2) استنادا إلى ما توصل إليه احد الباحثين [15] والتي وفرت زمن كافي لإجراء عملية التبريد السريع ضمن المنطقة المحصورة ما بين خط السيولة وخط الصلابة . أختيرت أبعاد المصوبات (6×6×12Cm) لتعطي نسبة (V/A) مساوية الى 1.2.

اختيرت سبيكة Al-20Sn لحداثتها[19-17] وتزايد الاهتمام بها كونها من السبائك المقاومة للبلى (wear) وبذلك فان تحسين البنى المجهرية سيصب في تحسين الخواص الميكانيكية ومن ثم مقاومة البلى.

لغرض قياس درجة حرارة المنصهر وتحديد درجة حرارة السكب استعمل مزدوج حراري نوع (Chromel-Alumel K-type) . بينما استخدم مزدوج حراري ثاني بقطر (1.5mm) داخل القالب وعلى بعد (25-30 mm) من الجدار لقياس درجة حرارة المسبوكة عند وسطها أثناء عملية التبريد السريع.

تم قياس المسافة بين الاذرع الشجيرية(Dendrite Arm Spacing DAS) بطريقة التقاطع (intersect method) [20] أضافة الى تقنية تقاطع الخطوط (lineal intercept technique) لايجاد الحجم الحبيبي (شكل-3).



شكل(3) : قياس المسافة بين الاذرع الشجيرية(DAS) [20]

أستخدم الخليط (KCl-NaCl-NaF) كمساعد صهر(Flux) بمقدار (0.5%) من وزن المسبوكة على مرحلتين في بداية شحن المادة الخام وعند بدء الانصهار. ولتقليل من تأثير غاز الهيدروجين المذاب مرر غاز ألا ركون داخل المنصهر باستخدام أنبوب من الفولاذ المقاوم للصدأ AISI 304 وبمعدل (2.5 L/min) لمدة (5 min) عند درجة الحرارة (700ºC) [21] . تم السكب عند درجة (700°C) بقالب مصنوع من (DINX40CrMoV511) وبابعاد (6x6x12cm) وسمك جدار (25mm) للحصول على مسبوكات القوالب المعدنية (Gravity Die Casting GDC) تركت لتبرد الى درجة حرارة الغرفة دون أستخدام عمليات التبريد ألقسري. أنتجت مسبوكتان من مسبوكات القوالب المعدنية (GDC) الاولى بدون استخدام المنعمات والثانية باستخدام مادة منعمة (Al-10%Ti) . ولغرض المقارنة تمت السباكة العمودية في القالب المعد للسباكة التدفقية المصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ (304 St. St.) عند درجات حرارة سكب (700,660° C) والتبريد بالماء عند درجة(550° C).

أما أنتاج المسبوكات بالطريقة التدفقية في القالب المصنع من الفولاذ المقاوم للصدأ والمائل بزاوية (75°) فقد تمت وفق مايلي:

1- السكب عند درجة(700° C) والتبريد عند درجة (450-550° C).
2- السكب عند درجة (660° C) والتبريد عند درجة(350-450-550° C) .
3- السكب عند درجة (640° C) والتبريد عند درجة (350-450-550° C).

النتائج والمناقشة Results and discussion

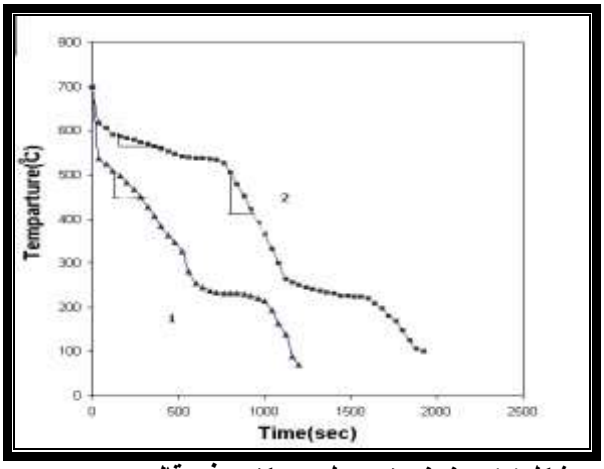
1. منحنيات التبريد Cooling Curves

يمثل الشكل(4) منحني التبريد في القالب (X40CrMoV511) . بلغ معدل التبريد ما بين درجة حرارة السكب (700ºC) و(540 ºC) بحدود (285ºC/min) قابلها (132 ºC/min) لقالب الفولاذ المقاوم للصدأ ضمن مدى(700 ºC) لغاية (620ºC) ثم انخفض معدل التبريد ليصبح (29 ºC/min) ضمن مدى (540ºC) لغايـــــة (240ºC) للقالب التقليدي بينما كان معدل التبريد ضمن مدى (620 ºC) لغاية (540 ºC) بحدود (14 ºC/min) لقالب الفولاذ المقاوم للصدأ ثم يعقبها زيادة الفقد الحراري

ضمن مدى (540ºC) لغاية (260 ºC) ليصل إلـــى (47 ºC/min) . إن هذا التباين لاسيما انخفاض المعدل العام للتبريد في قالب الفولاذ المقاوم للصدأ هو الذي يفسح المجال لإجراء عملية التبريد السريع ضمن المدى المحصور مابين درجة حرارة السيولة والصلابة .

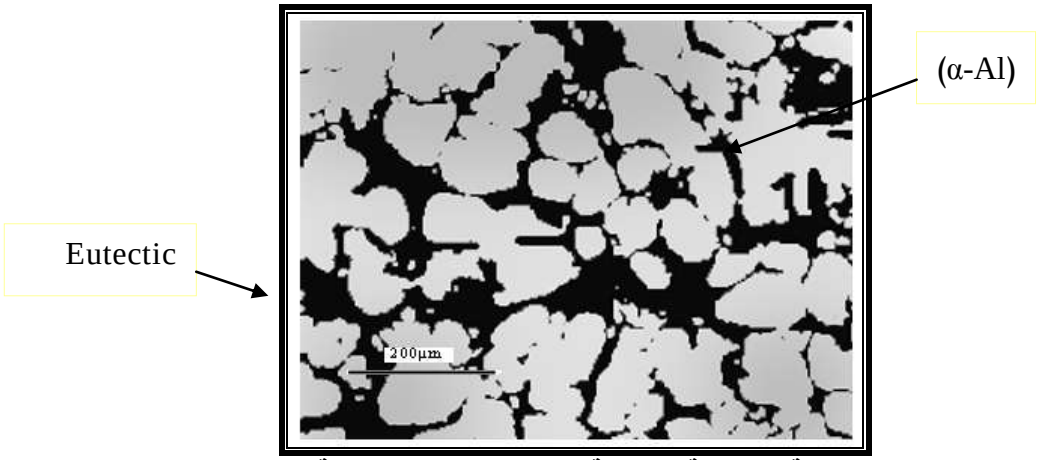
2. السباكة في القوالب الدائمة Gravity Die Casting of Al - 20Sn

لغرض مقارنة البنية المجهرية تمت السباكة العمودية في قالب تقليدي من الفولاذ الســـبائكي العالي(X40CrMoV511) . سخن القالب لغاية(150ºC) وفق المسالك التكنولوجية المعمول بها في مسابك الألمنيوم والسكب بدرجة حرارة (700ºC). كانت البنية المجهرية الناتجة شجيرية خشنة والمسافة بين الأذرع الشجيريـــــة (DAS 46 µm) مع بعض الحبيبات المتساوية المحاور (شكل-5) من الطور الابتدائي (α-Al). بلغ الكسر الحجمي للطور الابتدائي (0.57-0.53) مع الإشارة انه لم يرافق تجمد هذه المسبوكة التبريد السريع ما بين منطقة السيولة والصلابة .



شكل(4): منحني تبريد لمسبوكتين في قالبين عمودين
(1) مصنع من X40CrMoV511 (2) مصنع من 304 St..St

إن مدى التجمد الواسع (398ºC) للسبيكة (Al-20Sn) المحصور بين درجة انصهار السبيكة (630 ºC) إلى درجة حرارة التحول الايوتكتكي (232ºC) ساعد على نمو الحبيبات وتكوين بنية شجيرية.



شكل (5): البنية المجهرية لمسبوكة عند سكب المنصهر بدرجة (700º C)

3. السكب العمودي عند درجة 700 ºC بإضافة منعمات لمسبوكات (GDC)

أن عملية تنعيم الحبيبات (grain refinement) يعني السيطرة على نمو الطور الابتدائي (primary phase) المتكونة في المنصهر . يمكن ملاحظة تأثير إضافة عناصر التنعيم (refinement elements) بوضوح في معظم سبائك الألمنيوم إذ أمكن الحصول على حجم حبيبي يقل عن (100µm) [20] .

تم إنتاج مسبوكة باضافة سبيكة (Al-10Ti) كمادة منعمة التي تستخدم بصورة رئيسية لتنعيم الطور الابتدائي(α-Al). جرت عملية إضافة المادة المنعمة قبل سكب المنصهر مباشرة وبعد عملية طرد الغازات لمسبوكات (GDC) عند درجة حرارة (700ºC) . كانت البنية الناتجة ناعمة مقارنة بالبنية الناتجة بدون استخدام المنعمات وتحتوي على حبيبات متساوية المحاور (شكل-6) وصل حجمها إلى (70µm) .

4. السكب العمودي للمنصهر بدرجة (700º C) في قالب الفولاذ المقاوم للصدأ

تمت عملية السكب العمودي لمنصهر سبيكة (Al-20Sn) في القالب المعدني (304 St..St) بدرجة حرارة (700ºC) للحصول على مسبوكة بالأبعاد (6x6x12 cm) وكان حجمها (432 cm^3) ومساحتها السطحية (360 cm^2) ونسبة (V/A=1.2) ووزنها (1400 gm). بلغ الوقت المستغرق لتبريد المسبوكة إلي درجة الحرارة (550ºC) بحدود (.97sec) . تمت عملية التبريد السريع بالماء عند درجة (550ºC) وكانت البنية المجهرية الناتجة بنية شجيرية الشكل وبمتوسط مسافة بين الأذرع الشجيرية (DAS) يساوي (38 µm) (الشكـل-7) . تستمر هذه البنية حتى مركز المسبوكة بكسر حجمي للطور الابتدائي (α-Al) وصل الى حدود (0.65-0.654).

5. السكب العمودي للمنصهر بدرجة (660 ºC) في قالب الفولاذ المقاوم للصدأ

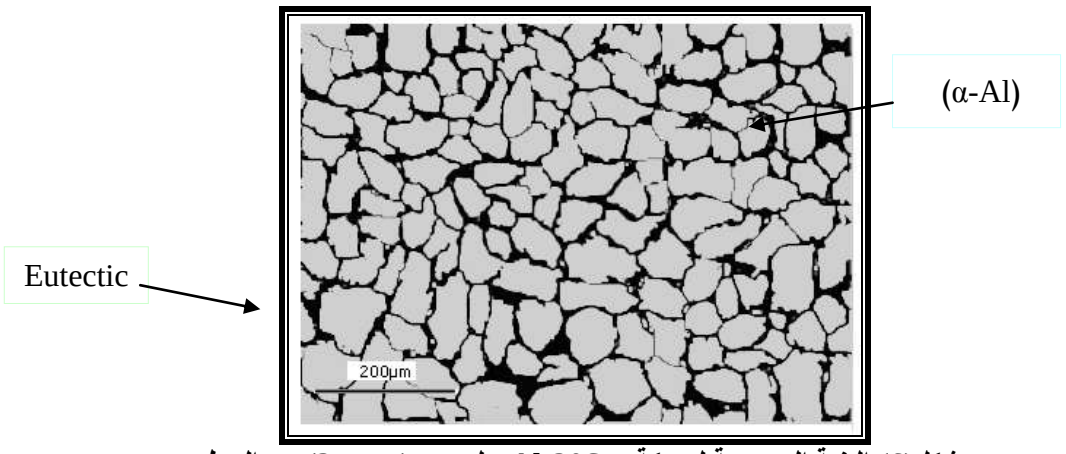
ولغرض تقليل حرارة المنصهر تمت عملية سكب المعدن بدرجة حرارة (660ºC) وكان الوقت المطلوب لوصول السبيكة إلى درجة (550ºC) بحدود (.62sec) ، كانت البنية الناتجة شجيرية أيضا وبمتوسط مسافة بين الأذرع الشجيرية بلغت (29µm) (شكل-8) .استمرت البنية الشجيرية على طول المقطع العرضي ولوحظ تنعيم نسبي للطور الابتدائي (α-Al) بكسر حجمي (0.662-0.667). إن هذا التغير في المسافة بين الأذرع والكسر الحجمي ناتج من انخفاض حرارة المنصهر وزيادة معدل التبريد.

من خلال نتائج البنية المجهرية في عمليات السكب العمودي السابقة يتضح بان البنية شجيرية الشكل وان السبيكة تستجيب عند استخدام المنعمات في الحصول على بنية منعمة وان لدرجة حرارة السكب تاثير واضح على طول الاذرع الشجيرية.

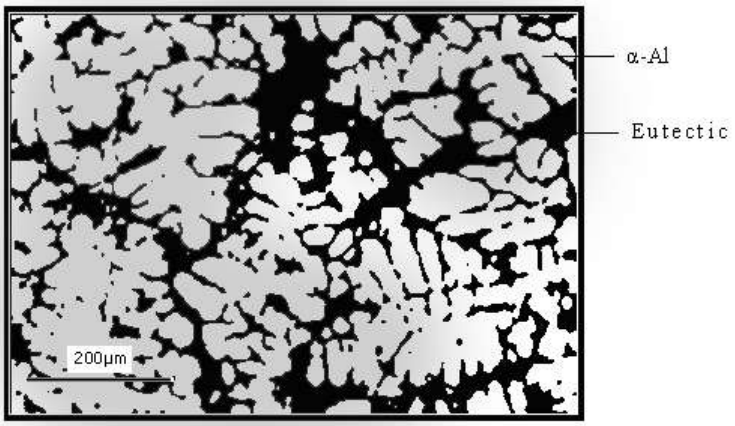
6. السكب المائل (السباكة التدفقية الحديثة)

أظهرت التجارب التي قام بها أحد الباحثين [15] إن البنية المجهرية الناتجة لسبيكة (Al-7%Si) في قالب مائل بزوايا مختلفة (15º,30º,45º,60º) كانت بنية شجيرية خشنة وحبيبات متساوية المحاور تزداد نسبتها باتجاه مركز المسبوكة. آما الزاوية (75º) فإنها أعطت بنية متساوية المحاور بشكل منتظم على طول المقطع العرضـــي

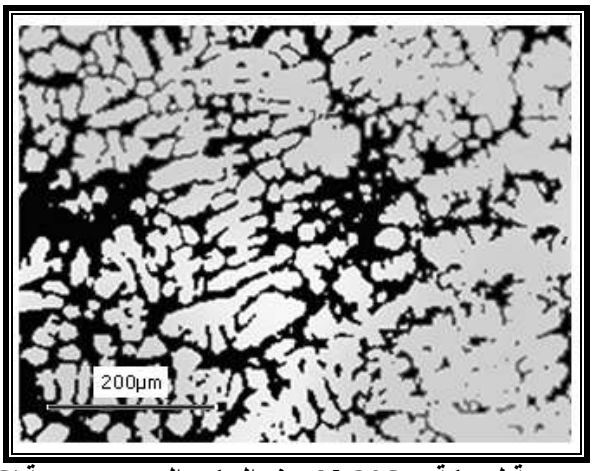
للمسبوكة عند درجة حرارة سكب معينة مما يؤكد إن الزاوية المذكورة حققت انسيابا طباقيا على طول جدار القالب مقارنـــــة بالزواياالأخرى وعلى وجه التحديد مع السكب بزاوية قائمة ، لذا تم اختيار زاوية السكب (75º) في البحث .



شكل(6) البنية المجهرية لسبيكة Al-20Sn على بعد (25mm) من السطح باضافة سبيكة (Al-10Ti) كمادة منعمة



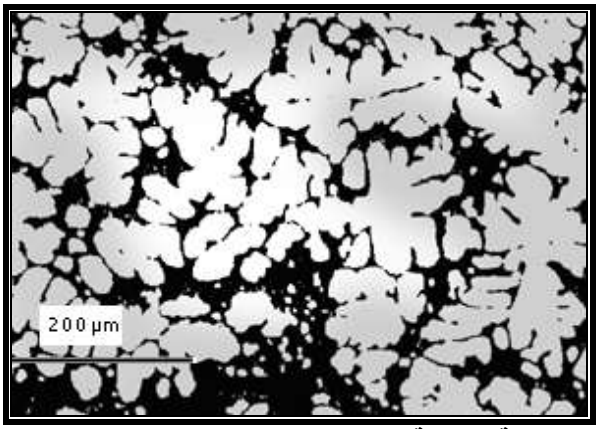
شكل (7) البنية المجهرية لسبيكة Al-20Sn عند السكب العمودي بدرجة في (700º C) في قالب (304 St.St.)) و التبريد السريع عند درجة (550º C)



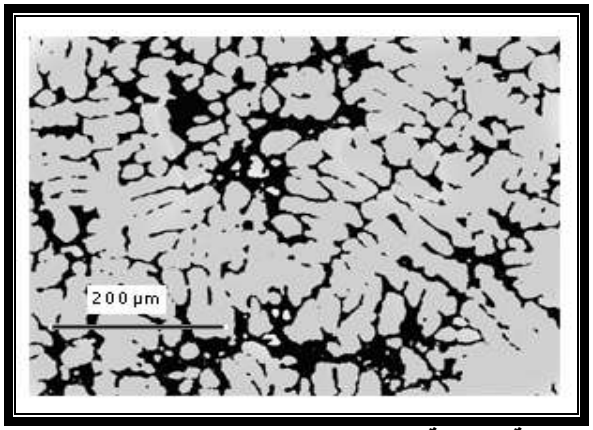
شكل (8) البنية المجهرية لسبيكة Al-20Sn عند السكب العمودي بدرجة(660º C) في قالب (304 St.St) والتبريد السريع بدرجة (550º C)

- السكب المائل عند درجة حرارة (700ºC)

لغرض تأكيد أهمية السكب بزاوية مائلة مقارنة بالسكب العمودي تمت عملية سكب المنصهر بدرجة حرارة (700ºC) في قالب مائل بزاوية (75º) وتثبيت مسافة سكب المعدن باستخدام حامل دوار والتبريد السريع بالماء من درجتي الحرارة 450ºC, (550ºC) على التوالي وكانت البنية المجهرية الناتجة شجيرية وبمتوسط مسافة بين الأذرع الشجيرية بلغت (36 µm ,31 µm) على التوالي . لوحظ إن السكب المائل ساعد على زيادة نعومة الأذرع الشجيرية للسبيكة عند تثبيت بقية المتغيرات من درجة حرارة سكب ودرجة حرارة التبريد السريع (شكل-9, 10). إن سبب تكون البنية الشجيرية يعود إلى عملية إعادة انصهار جزء كبير من النويات المتكونة على السطح نتيجة ارتفاع حرارة المنصهر والتشجيع على النمو الشجيرات [13] .

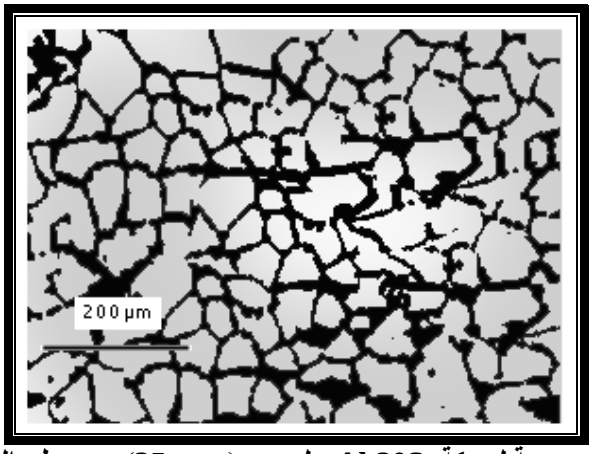


شكل(9) البنية المجهرية للسبيكة Al-20Sn على بعد (25 mm) من الجدار عند السكب المائل بدرحة (700°C) والتبريد السريع بالماء من درجة (550ºC)

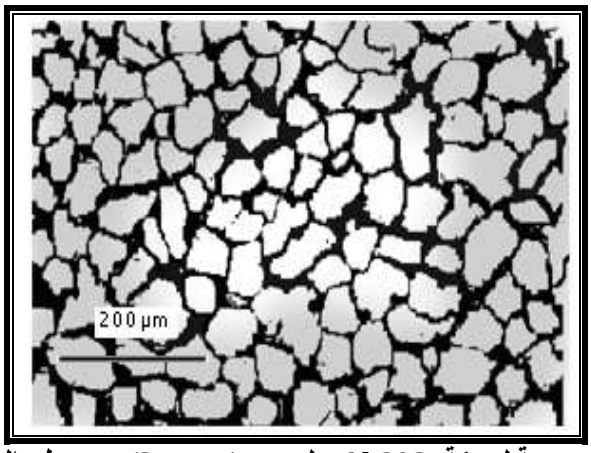


شكل (10) البنية المجهرية للسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من الجدار عند السكب المائل بدرحة (700°C) والتبريد السريع بالماء من درجة (450ºC) السكب المائل عند درجة حرارة (660ºC)

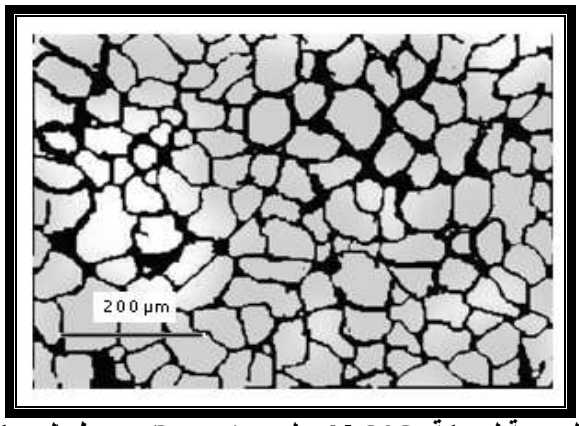
لغرض تقليل حرارة المنصهر أثناء التجمد تم تخفيض درجة حرارة السكب إلى (660ºC) و تثبيت نسبة حجم المسبوكة إلى المساحة السطحية (V/A=1.2) وزاوية السكب (75º) والتبريد من درجة (350ºC) وكان الوقت المستغرق لوصول المعدن إلي الدرجة المطلوبة القريبة من درجة حرارة التحول الايوتكتيكي حوالي (.216sec) .اظهر
الفحص المجهري أن البنية المجهرية الناتجة بنية خشنة من حبيبات متساوية المحاوروحبيبات طولية الشكل (شكل-11).
تزداد نعومة الحبيبات المتساوية باتجاه مركز المسبوكة ليبلغ متوسط حجم الحبيبات للطور الابتدائي (78 µm) والكسر الحجمي له (0.636-0.685) . إن السبب في كبر حجم الحبيبات يعود إلى إن الوقت المستغرق للوصول إلى درجة التبريد السريع يسمح بنمو الحبيبات . ولغرض زيادة معدل التبريد وتحديد نمو الحبيبات رفعت درجة حرارة التبريد السريع إلى (450ºC) . استمرت البنية الخشنة من حبيبات طولية وحبيبات متساوية المحاور بالظهور (شكل-12) وآنحسرت البنية الخشنة باتجاه المركز. بلغ متوسط الحجم الحبيبي (67µm) للطور(α-Al) والكسر الحجمي له (0.655-0.657) .
يلاحظ إن رفع درجة حرارة التبريد السريع إلى (450ºC) يؤدي إلى تحسين البنية إذ أصبح متوسط حجم الحبيبات (67µm) . وعند زيادة درجة حرارة التبريد إلى (550ºC) زادت نعومة حبيبات (α-Al) مقارنة بالحالة السابقة (الشكل-13) . بلغ متوسط حجم الحبيبات (62 µm) وبكسر حجمي (0.694-0.705) .
أظهرت البنية المجهرية لسبيكة (Al-20Sn) الناتجة من السكب المائل عند درجة (660º C) والتبريد السريع بالماء من -(350 °) (550°-450° بنية متساوية المحاور منعمة مقارنة مع المسبوكات المنتجة بالسكب العمودي عند نفس الدرجة مما تعطي مؤشرا لاستجابة السبيكة لعملية التحسين بطريقة السباكة التدفقية الحديثة .



شكل (11) البنية المجهرية لسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من سطح المسبوكة عند السكب المائل بدرجة (660º C) والتبريد السريع بالماء من درجة (350ºC)



شكل (12) البنية المجهرية لسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من سطح المسبوكة عند السكب المائل بدرجة (660º C) والتبريد السريع بالماء من درجة (450ºC)

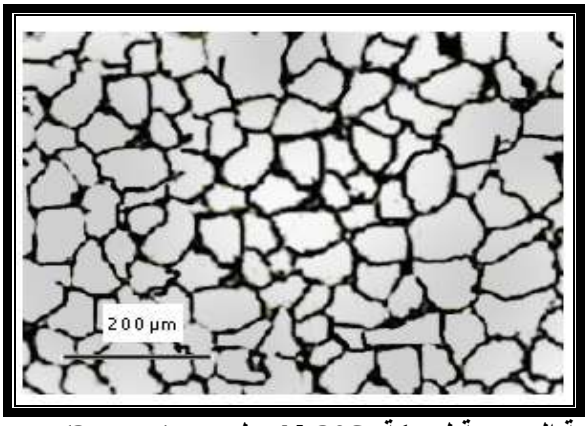


شكل (13) البنية المجهرية لسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من سطح المسبوكة عند السكب المائل بدرجة (660º C) والتبريد السريع بالماء من درجة (550ºC)

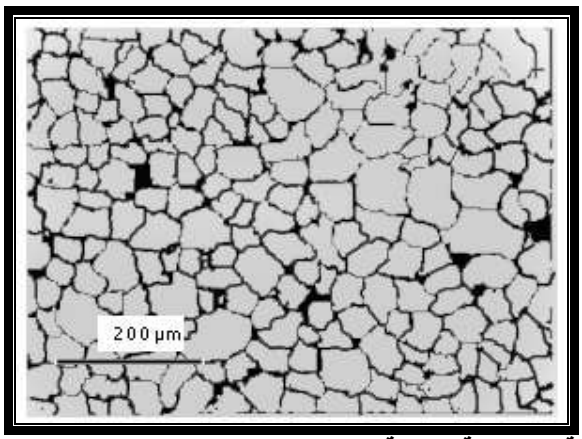
*السكب المائل عند درجة حرارة (640ºC)

تمت السباكة بدرجة حرارة السكب (640ºC) القريبة من درجة حرارة الانصهار والتبريد السريع عند درجة حرارة (350ºC) القريبة من درجة حرارة التحول الايوتكتيك وكانت البنية الناتجة حبيبات منتظمة الشكل اقترب شكلها من الحبيبات المتساوية المحاور (شكل -14) وتتخذ الحبيبات أشكالا اكثر انتظاما باتجاه مركز المصبوبة. بلغ متوسط حجم الحبيبات (68 µm) والكسر الحجمي (0.657-0.708) ويتضح أن حجم الحبيبة اصغر مقارنة بدرجة حرارة السكب (660ºC) والتبريد السريع عند (350ºC) لزيادة عدد النويات الاولية المتكونة نتيجة لانخفاض درجة حرارة السكب وقصر الفترة الزمنية للتجمد.

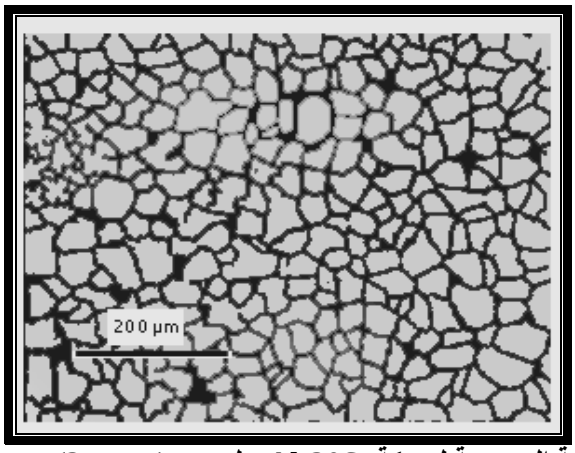
وعند رفع درجة حرارة التبريد إلى (450ºC) امتازت البنية الناتجة بصغر حجم حبيبات الطور الأبتدائي (شكل-15) ويلاحظ زيادة عدد الحبيبات المتساوية باتجاه مركز المصبوبة . بلغ متوسط حجم الحبيبات (61µm) والكسر الحجمي (0.687-0.708) وبالمقارنة مع عملية السكب عند (660º) والتبريد عند نفس الدرجة يلاحظ أنخفاض في حجم حبيبات الطور الابتدائي .



شكل (14) البنية المجهرية لسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من سطح المسبوكة عند السكب المائل بدرجة (640º C) والتبريد السريع بالماء من درجة (350ºC)



شكل (15) البنية المجهرية لسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من سطح المسبوكة عند السكب المائل بدرجة (640º C) والتبريد السريع بالماء من درجة (450ºC)



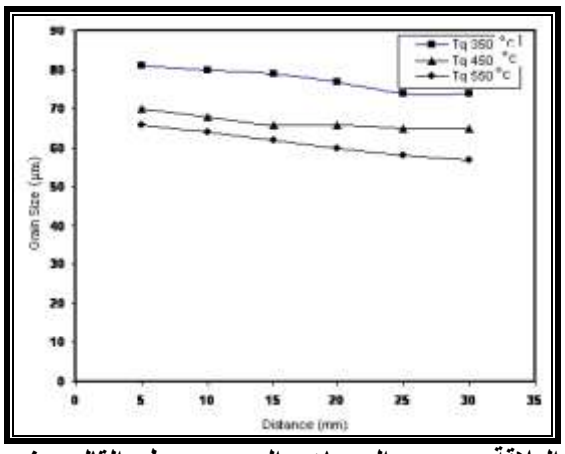
شكل (16) البنية المجهرية لسبيكةAl-20Sn على بعد (25 mm) من سطح المسبوكة عند السكب المائل بدرجة (640º C) والتبريد السريع بالماء من درجة (550ºC)

أمتازت البنية الناتجة من سكب المعدن بدرجة (640ºC) والتبريد بدرجة (550ºC) بأنها بنية متساوية المحاور من جدار المسبوكة وحتى المركز وبمتوسط حجم حبيبي (45µm) وكسر حجمي (0.656-0.662) (شكل- 16). ويلاحظ العدد المتزايد لحبيبات الطور الابتدائي (α-Al) والإحاطة التامة لها بالايوتكتيك والتوزيع المنتظم للحبيبات لوحدة المساحة مما يعني الحصول على بنية منعمة دون الحاجة إلى استخدام مواد منعمة أو تحريك المنصهر خلال التجمد . تمت محاولة التبريد السريع عند درجة (600ºC) إلا إن قصر الفترة الزمنية للوصول إلى (600ºC) حالت دون ذلك .

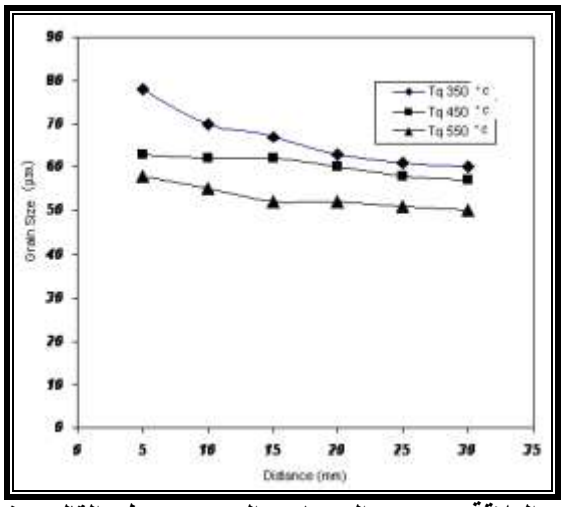
يلاحظ من المسبوكات التي أنتجت بدرجات حرارة سكب مختلفة إن البنية تتأثر بشكل كبير بدرجة حرارة السكب ، اذ كانت البنية شجيرية عند السكب المائل بدرجة الحرارة (700ºC) وان طور اليوتكتيك ينحصر بين الأذرع الشجيرية في الوقت الذي اخذ به طور اليوتكتيك الإحاطة بحبيبات الطور الصلب المتجمد عند سكب المعدن بصورة مائلة بدرجة (660ºC). ونظرا لان نمو الحبيبي استمر لفترة أطول عند التبريد امتازت الحبيبات بكبر حجمها.

وعند سكب المنصهر بصورة مائلة بدرجة (640ºC) ظهرت الحبيبات المتساوية المحاور بشكل أكثر انتظاما وأصغر حجما نتيجة انخفاض درجة حرارة المنصهر الذي ساعد على زيادة عدد الحبيبات المتخلقة أثناء سكب المنصهر على سطح القالب وكذلك على استقرارها ونموها دون أن يتسبب في إعادة صهرها .

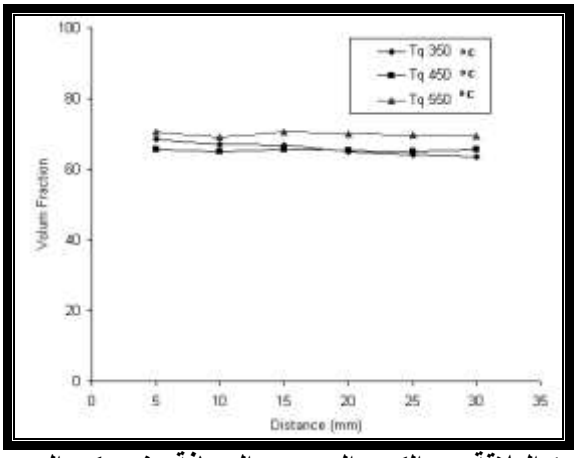
يوضح الشكل (17) العلاقة بين الحجم الحبيبي والمسافة من سطح المسبوكة عند سكب المنصهر بدرجة حرارة (660ºC) والتبريد بدرجات (350º,450º,550ºC) . ينخفض حجم الحبيبة باتجاه مركز المسبوكة بمقدار ملموس والذي يخالف المتوقع . من المعتقد أن ذلك يرجع إلى زيادة أنعزال (segregation) القصدير باتجاه المركز الذي يعمل كمراكز تنوية ساعدت في تنعيم البنية الحبيبة. أن حجم الحبيبات الطور الابتدائي وطبيعة توزيعها كانت الافضل عند سكب المنصهر بدرجة (640ºC) والتبريد عند درجة (550ºC) (شكل-18) . يمكن ملاحظة التوزيع المنتظم للطور ألابتدائي (α-Al) نسبيا عند السكب والتبريد بدرجات الحرارة المختلفة كما في الشكلين (20,19).



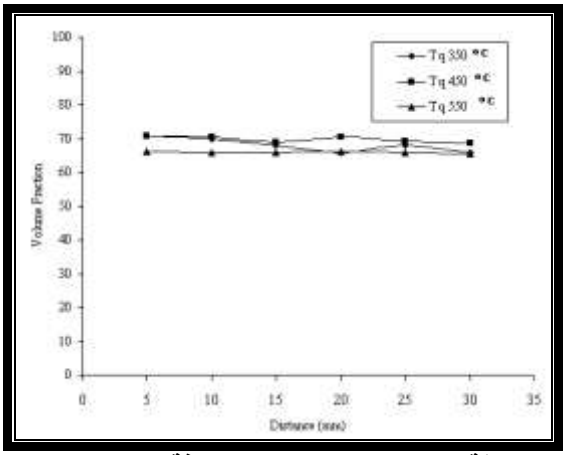
شكل (17) العلاقة بين حجم الحبيبات والبعد عن سطح القالب عند سكب المعدن بصورة مائلة بدرجة (660ºC) والتبريد السريع بالماء عند (350º,450º,550º C)



شكل (18) العلاقة بين حجم الحبيبات والبعد عن سطح القالب عند سكب المعدن بصورة مائلة بدرجة(640ºC) والتبريد السريع بالماء عند (350ºC,450ºC,550º C)



شكل (19) العلاقة بين الكسر الحجمي والمسافة عند سكب المعدن بصورة مائلة بدرجة (660ºC)والتبريد السريع بالماء عند (350ºC,450ºC,550ºC)



شكل (20) العلاقة بين الكسر الحجمي والمسافة عند سكب المعدن بصورة مائلة بدرجة (640ºC) والتبريد السريع بالماء عند (350ºC,450ºC,550º C)

7.تأثير إعادة التسخين على البنية المجهرية

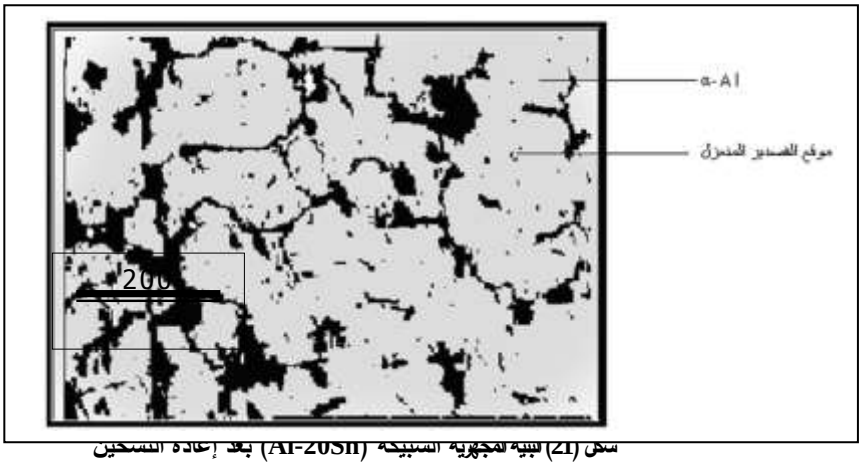
تهدف طريقة السباكة التدفقية الحديثة لإنتاج قطع معدنية ذات بنية متساوية المحاور تستخدم في عمليات لاحقة لإنتاج مسبوكات لها نفس البنية الأولية أو الإنتاج المباشر للجزء لاسيما في صناعة الأجزاء ذات الأشكال المعقدة . لوحظ عند إعادة تسخين المسبوكات المنتجة إلى أي درجة حرارة تتجاوز درجة حرارة التحول الطوري (232°C) يحدث انعزال لمادة القصدير

وظهور فجوات على السطح نتيجة انصهار القصدير وانفصاله عن المسبوكة (شكل- 21) لذلك يكون من الضروري أنتاج مسبوكات منعمة من سبيكة Al-20Sn بطريقة السباكة التدفقية الحديثة لتكون هذه المنتجات نهائية الصنع .

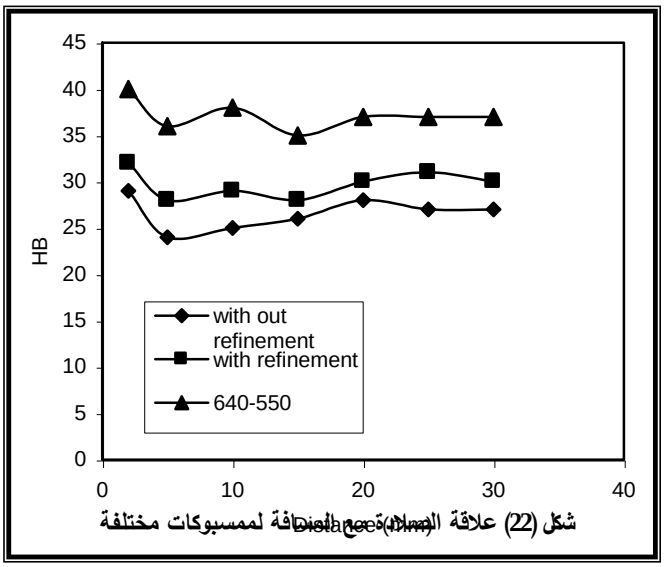
8 .الخواص الميكانيكية

بلغت صلادة برينل للمسبوكة التي سكبت بصورة عمودية بدرجة (700ºC) في قالب(X 40CrMoV511) بدون استخدام المنعمات (27HB) قابلها صلادة (31HB) لمسبوكة التي استخدمت بها المنعمات . أما المسبوكات التي تم سبكها بطريقة السباكة التدفقية الحديثة (السباكة بصورة مائلة والمبردة بالماء) من درجة حرارة (660ºC) والتبريد بدرجة(350ºC) كانت صلادتها (29HB) والمبردة بدرجة (450ºC) (31HB) والمبردة بدرجة (550ºC) بلغت (32HB). فيما سجلت المسبوكات التي تم سكبها بدرجة (640ºC) والتبريد السريع عند (350º,450º,550º C) على التوالي (32,34,37HB) وهذا ناتج من التنعيم الحاصل في حجم الحبيبات وزيادة عددها والتوزيع المنتظم للطور ألايوتكتيك حول الطور الابتدائي (α-Al) (الشكل -22) .

لوحظ من اختيار الشد –أيضا- بان هناك تغير في إجهاد الشد والمطيلية بين العينات المصبوبة بطريقة السباكة التقليدية(السكب العمودي) والسباكة التدفقية الحديثة (السكب المائل) حيث بلغت مقاومة الشد القصوى في العينات التي تم سباكتها بطريقة (GDC) بدون إضافة المنعمات بحدود (UTS 95 MPa) والمطيلية (8%) يقابلها مقاومة شد قصوى (UTS 114MPa) ومطيلية (13%) للعينات المنتجة بطريقة السباكة التدفقية عند درجة حرارة السكب (640°C) والتبريد السريع عند درجة حرارة (550°C).



شكل (21) البنية المجهرية للسبيكة (Al-20Sn) بعد إعادة التسخين



شكل (22) علاقة الصلادة مع المسافة لمسبوكات مختلفة

الاستنتاجات :

1- إمكانية إنتاج سبيكة Al-20Sn بطريقة السباكة التدفقية الحديثة والحصول على بنية مجهريه بحبيبات متساوية المحاور بدون الحاجة إلى استعمال مواد منعمة أو استخدام أي نوع من أنواع التحريك.

2- ساعد تخفيض درجة حرارة السكب إلى حدود (640ºC) والتبريد عند درجة حرارة (550ºC) الحصول على حبيبات متساوية المحاور على طول المقطع العرضي وحجم حبيبي للطور الابتدائي (α-Al) بلغ (45µm) وبكسر حجمي له بحدود (0.662-0.656).

3- حققت مسبوكات السباكة التدفقية عند السكب بدرجة (640°C) والتبريد السريع من (550°C) صلادة بلغت (37HB) مقارنة بمسبوكات (GDC) المنعمة (31HB) مما يعطي مؤشرا على آمكانية تحسين مقاومة البليان لهذه السبيكة عند الإنتاج بهذه الطريقة.

4- رافق إعادة تسخين مسبوكات السباكة التدفقية الحديثة عند درجة حرارة (235ºC) انعزال القصدير مما يؤكد على ضرورة استخدام الطريقة مباشرة لإنتاج المسبوكات النهائية

References:

1- Tom Bex, "Thixomolding Promises Saving", Modern Casting .Vol. 18, August 1992, pp. 24-25 .

2-Charls Vives, "Grain Refinement in Aluminum Alloys by Means of Electromagnetic Vibrations Including Cavitations Phenomena ", Journal of Metals, Vol.5 No 2. February 1998.

3- G. Tausig, "Liquidus Casting of a Wrought Aluminum alloy for Thixoforming" Material Science and Engineering, A246, 1998, pp.1-10.

4- M. N. Becker, "Aluminum: New Challenges in Downstream Activities", Journal of Metals, Vol.11, 1999, pp.26-32.

5- K. Young, P. Eisen. "SSM Technological Alternatives for Different Application", Metallurgical Science and Technology, Vol.18, 2000, pp11-15.

6- Chris S. Rice and Patricio F. Mendez, "Slurry-Based Semi- Solid Casting", Advanced Materials and Processes, 159 (10), October 2001.

7- Heimo Wabuseg, "Process and Development for High Quality Aluminum Components for Lightweight Construction – the New Rheocasting Process" A Dissertation Submitted to the Swiss Federal Institute of Technology, January 2002.

8- M.C. Fleming, "Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State", Metallurgical Transactions A, 22A, 1991, pp.957-981.

9- Tim Basner, "Rheocasting of Semi-Solid A357 Aluminum" .SAE, Technical paper series ,SAE 2000 word congress .Detroit .Michigan, March ,6-9,2000 , PP .1-5 .

10- J.U. Ejiofor, R.G. Reddy, "Developments in the Processing and Properties of Particulate Al-Si Composites". Journal of Metals, Vol. 11, 1999, pp.275-279.

11- A.M Figured, A. Kato, and M, C, Flemings, "Viscosity of Semi- Solid a 357 Alloy in the Transient High Shear Rate Regime", Metallurgical Science and Technology, Vol. 18 No .2, December 2000, pp 15-18.

12- B. Zhang , M. Garro, and C. Tagliano, "Dendrite Arm Spacing in Aluminum Alloy Cylinder Head Produced by Gravity Semi –Permanent Mold", Metallurgical Science and Technology ,Vol. 21, June 2003, pp. 3-9 .

13- H. Kaufmann ,H, Wabusseg, and P. J. Uggowitzer, "Metallurgical and Processing Aspects of NRC Semi-Solid Casting Technology", Aluminum, Vol.76,2000,pp.70-75

14- S .Kliner, O .Beffort, A .Wahlen and P J. Uggowitzer, "Microstructure and Mechanical Properties of Squeeze Cast and Semi-Solid Cast Mg-Al alloys", Journal of Light Metals ,Vol .2, 2002, pp277-280 .

15-B. Zhang, M. Garro, C. Tagliano,"Commercial Development of the Semisolid Rheocasting (SSR) Process", Metallurgical Science and Technology, Vol.21, 2003, pp 11-15.

16- Adnan N. Abood, "Design and Characterization of Advanced Semi-Solid Casting Processes", A thesis submitted to the University of Technology for the degree of Ph.D. in Metallurgy Engineering, 2003, Iraq.

17-K.T. Struss," Applied Science in the Casting of Metals", Pergamon Press, 1970.

18- R. Mergen, "Aluminum Base Bearing Alloy and a Bearing Element", Comprising," US Patent 6, 596, 412, B2.Jul, 22, 2003.

19- R. Mergen, "Aluminum Base Bearing Alloy and a Bearing Element Comprising a Running Layer Formed by the Alloy", US Patent 6,596,412 B2, Jul. 22, 2003.

20- Kagohara. "Aluminum Bearing Alloy" United States Patent 6.875, 290 April 5- 2004.

شكل(13) البنية المجهرية للسبيكة Al-20Sn على بعد(5

21- D. G. Mc Cartney , "Grain Refining of Aluminum and its Alloys Using Inoculates " International Materials Reviews , Vol -34, 1989, PP. 247-260 .

ثبت الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
C_{pl}	الحرارة النوعية للمنصهر	J/Kg
H	الحرارة الكامنة	J/Kg
K	معامل التوصيل الحراري	W/m.K
ρ	الكثافة	Kg/m^3
t	الزمن	Sec
W	وزن المصبوبة أو المسبوكة	Kg
T_M	درجة حرارة إنصهار المذيب النقي	°C
T_l	درجة حرارة إنصهار السبيكة	°C
q	كمية الحرارة المتولدة	(J)